

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2001312302 A

(43) Date of publication of application: 09.11.01

(51) Int. Cl. **G05B 13/02**  
**F16F 15/02**  
**G05D 19/02**

(21) Application number: 2000133151

(22) Date of filing: 02.05.00

(71) Applicant: TAISEI CORP

(72) Inventor: RANKI TATSUHIRO  
 NAGASHIMA ICHIRO

## (54) ACTIVE DAMPING METHOD

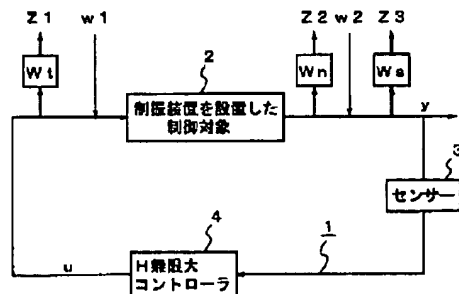
## (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an active damping method capable of effectively performing damping not only to oscillations caused by the natural frequency of a controlled system but also to oscillations caused by other external disturbances.

SOLUTION: Concerning the active damping method for reducing the oscillations of a controlled system 2 installed with a damping target and provided with an active damper by detecting the oscillations of the controlled system 2 with a sensor 3, operating a control variable related to the controlled system 2 from this detected signal, inputting a control power to the actuator of the active damper on the basis of the provided controlled variable and performing the driving control of a weight with the actuator, a controller 4 is designed while using an H infinity control theory by setting a frequency weight function for sensitivity reduction having a great weight in a frequency which is caused by an external disturbance and different from the natural frequency of the controlled system 2, and oscillations in the external disturbance frequency of the controlled system 2 are reduced by inputting the control power

for sensitivity reduction based on the frequency weight function to the actuator from the detected signal of the frequency which is caused by the external disturbance detected by the sensor 3 and is different from the natural frequency of the controlled system 2.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



w1: 外乱  
 w2: 制御ノイズ  
 y: 検出量  
 u: 制御力  
 Z1, Z2, Z3: 操作量  
 Wa: 感度低減重み  
 Wn: ロバスト安定重み  
 (乗法係数)  
 Wt: ロバスト安定重み  
 (加法係数)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-312302

(P2001-312302A)

(43) 公開日 平成13年11月9日 (2001.11.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームト\* (参考)

G 0 5 B 13/02

G 0 5 B 13/02

T 3 J 0 4 8

F 1 6 F 15/02

F 1 6 F 15/02

A 5 H 0 0 4

G 0 5 D 19/02

G 0 5 D 19/02

D 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-133151 (P2000-133151)

(22) 出願日 平成12年5月2日 (2000.5.2)

(71) 出願人 000206211

大成建設株式会社

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号

(72) 発明者 梶木 龍大

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成

建設株式会社内

(72) 発明者 長島 一郎

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成

建設株式会社内

(74) 代理人 100096862

弁理士 清水 千春 (外1名)

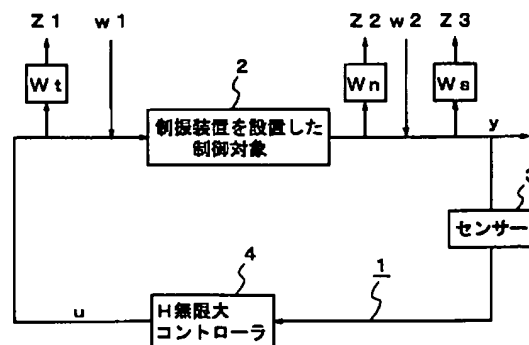
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクティブ制振方法

(57) 【要約】

【課題】 制御対象の固有振動数に起因する振動のみならず、それ以外の外乱による振動に対しても、効果的に制振を行うことができるアクティブ制振方法を提供する。

【解決手段】 制振対象物が据え付けられるとともにアクティブ制振装置が設けられた制御対象2の振動をセンサー3によって検知し、この検知信号から制御対象2に対する制御量を演算し、得られた制御量に基づいてアクティブ制振装置のアクチュエータに制御力を入力して、アクチュエータによって錘の駆動制御を行なうことにより制御対象2の振動を低減させるアクティブ制振方法であって、外乱により発生した制御対象2の固有振動数と異なる振動数において大きな重みを持つ感度低減用の周波数重み関数を設定してH無限大制御理論を用いてコントローラ4を設計し、センサー3によって検出された外乱により発生した制御対象2の固有振動数と異なる振動数の検出信号からアクチュエータに上記周波数重み関数に基づく感度低減用の制御力を入力することにより、制御対象2の外乱振動数における振動を低減させる。



w 1 : 外乱  
w 2 : 観測ノイズ  
y : 観測量  
u : 制御力  
Z 1, Z 2, Z 3 : 操作量  
W s : 感度低減重み  
W n : ロバスト安定重み  
(乗法誤差)  
W t : ロバスト安定重み  
(加法誤差)

BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 制振対象物が据え付けられるとともにアクティブ制振装置が設けられた制御対象の振動をセンサーによって検知し、この検知信号から上記制御対象に対する制御量を演算し、得られた制御量に基づいて上記アクティブ制振装置のアクチュエータに制御力を入力して、当該アクチュエータによって錘の駆動制御を行なうことにより上記制御対象の振動を低減させるアクティブ制振方法であって、

外乱により発生した上記制御対象の固有振動数と異なる振動数において大きな重みを持つ感度低減用の周波数重み関数を設定してH無限大制御理論を用いてコントローラを設計し、上記センサーによって検出された外乱により発生した上記制御対象の固有振動数と異なる振動数の検出信号から上記アクチュエータに上記周波数重み関数に基づく感度低減用の制御力を入力することにより、上記制御対象の上記外乱振動数における振動を低減させることを特徴とするアクティブ制振方法。

【請求項2】 上記制御対象の固有振動数および上記外乱振動数以外の振動数において上記アクチュエータの感度を低減させるロバスト安定周波数重み関数を設定してH無限大制御理論を用いてコントローラを設計し、上記アクチュエータに上記ロバスト安定周波数重み関数に基づく上記アクチュエータの感度低減用の制御力を入力することを特徴とする請求項1に記載のアクティブ制振方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、機械振動等の制御対象の固有振動数と一致しない、特定振動数の外乱による振動が問題となる床等の制振に用いて好適なアクティブ制振方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】周知のように、半導体工場や精密機械工場などにおいては、広範囲のエリアに電子顕微鏡、露光器あるいは計測器といった各種の振動を嫌う機器類が設置されている。このため、これら機器類が設置されている床、梁、建屋等に対しては、何等かの制振対策が必要とされている。そこで、従来、例えば上記床等の制御対象にHMD（ハイブリッドマスダンパー）等の制振装置を設け、当該制御対象の固有振動数に装置の周期を同期させることにより、上記嫌振機器類に対する制振を図っている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の制振装置は、制御対象の固有振動数の揺れに対して装置が大きく動くことにより、振動の減衰効果を生ずるものであるために、近傍機器類からの機械的振動、交通振動あるいは風振動等の、制御対象の固有振動数とは必ずしも一致しない特定振動数の外乱に対しては、装置

自体が大きく動くことが無く、よって制御対象に所望の振動減衰力を与えることができないという問題点があった。

【0004】また、従来の他の制振手段として、アクティブ制振装置を用いた最適制御方法が知られている。これは、コントローラからアクティブ制振装置のアクチュエータに制御力を入力し、上下動自在に設けられた錘の動きを制御することにより、制御対象の固有振動数に起因する振動を減衰させるものである。

【0005】ところが、上記従来の最適制御による制振方法においては、制御を強くすると、制御力の感度が上がり過ぎてしまい、この結果制御対象となる振動数以外の振動数範囲においても大きな制御力が発生してしまうために、制御対象の振動を検知するセンサーやアンプの特性によって制御力に位相遅れが生じた場合に、制御対象振動数以外の振動数における揺れを励振してしまうという問題点があった。

【0006】本発明は、上記従来の制振方法における課題を有効に解決すべくなされたもので、その第1の目的は、制御対象の固有振動数以外の外乱による振動に対しても、効果的に制振を行うことができるアクティブ制振方法を提供することであり、さらに第2の目的は、上記制御対象振動数において強い制御を実現することができ、かつそれ以外の振動数範囲においては制振装置のロバスト性を向上させることができるアクティブ制振方法を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の本発明に係るアクティブ制振方法は、制振対象物が据え付けられるとともにアクティブ制振装置が設けられた制御対象の振動をセンサーによって検知し、この検知信号から制御対象に対する制御量を演算し、得られた制御量に基づいてアクティブ制振装置のアクチュエータに制御力を入力して、当該アクチュエータによって錘の駆動制御を行なうことにより制御対象の振動を低減させるアクティブ制振方法であって、外乱により発生した制御対象の固有振動数と異なる振動数において大きな重みを持つ感度低減用の周波数重み関数を設定してH無限大制御理論を用いてコントローラを設計し、上記センサーによって検出された外乱により発生した制御対象の固有振動数と異なる振動数の検出信号からアクチュエータに上記周波数重み関数に基づく感度低減用の制御力を入力することにより、制御対象の外乱振動数における振動を低減させることを特徴とするものである。

【0008】また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明に加えて、さらに上記制御対象の固有振動数および外乱振動数以外の振動数において上記アクチュエータの感度を低減させるロバスト安定周波数重み関数を設定してH無限大制御理論を用いてコントローラを設計し、アクチュエータに上記ロバスト安定周波数重み関

数に基づくアクチュエータの感度低減用の制御力を入力することを特徴とするものである。

【0009】ここで、請求項2に記載のロバスト安定周波数重み関数を設定する方法としては、例えば、高振動数領域において大きな重みを持つ第1の重み関数と、低振動数領域において大きな重みを持つ第2の重み関数との合成によって設定する方法が有効である。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて、本発明に係るアクティブ制振方法の一実施形態について説明する。図1は、本実施形態のアクティブ制振方法を実施するための制御系1を示すもので、図中符号2は、嫌振機器類が据え付けられるとともにアクティブ制振装置が設置された床等の制御対象である。ここで、アクティブ制振装置は、制御対象に取り付けられる基盤に支柱が立設され、この支柱の上端部に駆動コイル（アクチュエータ）が支承されるとともに、上記支柱に、内部に励磁コイルが組み込まれた錘となる金属性のダンパ本体が上下方向に移動自在に設けられ、かつ当該ダンパ本体が制御対象に弾性的に支持されたものである。そして、上記駆動コイルに制御力を与えることにより、ダンパ本体の作動を制御して、制御対象2に発生する振動を制振するようになっている。

【0011】そして、この制御系1には、地震、風、機械振動などに起因する外乱 $W_1$ によって制御対象2に発生した振動数を検知するためのセンサー3が設けられている。また、この制御系1には、制御対象2に設置された上記アクチュエータを制御する制御手段として、H無限大制御理論を用いたコントローラ4が設けられている。

【0012】このコントローラ4内には、上記固有振動数以外の外乱 $W_1$ において大きな重みを持つ感度低減用の周波数重み関数 $W_s$ により設計された制御ゲインを設定するコンピュータ（演算装置）が設けられている。さらに、このコントローラ4には、上記重み関数 $W_s$ と合わせて、制御対象2の想定される外乱振動数以外の振動数において上記アクチュエータの感度を低減させるロバスト安定周波数重み関数 $W_n$ 、 $W_t$ を用いて設計された制御ゲインを設定する。

【0013】そして、この制御力を、コントローラ4からアクティブ制振装置のアクチュエータに入力することにより、当該固有振動数において駆動コイルを励磁して、上記錘を大きく上下方向に動かすことにより、錘を含めた装置の自重による慣性力を利用して制御対象2の振動を減衰させるようになっている。なお、図中符号 $W_2$ は、センサー3やそのアンプなどに含まれる観測ノイズを示すものである。

【0014】次に、図1～図6に基づいて、以上の構成からなる制御系を用いた本発明のアクティブ制振方法の一実施形態について説明する。まず、センサー3によ

て、上記制御対象2に地震や機械振動等に起因する固有振動数以外の外乱 $W_1$ による振動数 $f_b$ が検出されると、その検知信号がコントローラ4に送られる。

【0015】そして、このコントローラ4において、制御対象2に設置されたアクティブ制振装置のアクチュエータに、図2に示すように、この外乱振動数 $f_b$ において大きな重みを持つ感度低減用の重み関数 $W_s$ に基づく感度低減用の制御力が入力される。この結果、アクチュエータ内の錘が上下方向に大きく動かされて、アクティブ制振装置としての制振作用が発揮されることにより、制御対象2における上記振動 $f_b$ が低減される。

【0016】この際に、感度低減用の周波数重み関数 $W_s$ のみを用いた制御によれば、制御対象となる固有振動数 $f_n$ および上記外乱振動数 $f_b$ 以外の振動数範囲においても大きな制御力が発生してしまう。そこで、上述したように、コントローラ4には、制御対象の振動数 $f_n$ 、 $f_b$ 以外の振動数において、アクチュエータの感度を低減させるロバスト安定周波数重み関数 $W_t$ 、 $W_n$ を用いてH無限大制御理論により設計した制御ゲインが設定されている。そして、このコントローラ4によって、上記アクチュエータにこれらロバスト安定周波数重み関数 $W_t$ 、 $W_n$ に基づくアクチュエータの感度低減用の制御力を入力して、制御対象振動数 $f_n$ 、 $f_b$ 以外の振動数での感度を鈍くすることにより、アクティブ制振装置の動作安定性を確保する。

【0017】本実施形態においては、図3に示すように、ロバスト安定周波数重み関数として、高振動数領域において大きな重みを持つ周波数重み関数 $W_t$ と、低振動数領域において大きな重みを持つ周波数重み関数 $W_n$ とを組み合わせることにより、周波数重み関数 $W_t$ によって主として高振動数領域での制御力を抑制し、周波数重み関数 $W_n$ によって、主として低周波数領域での制御力を抑制するとともに、装置のドリフト抑制効果を奏するように設定している。このように、2つのロバスト安定周波数重み関数 $W_t$ 、 $W_n$ を組み合わせることにより、容易に制御対象の振動数 $f_n$ 、 $f_b$ 以外の振動数における装置のロバスト性を向上させることができる。

【0018】以上のように、上記構成からなるアクティブ制振方法によれば、H無限大制御理論を用いて制御対象2の固有振動数 $f_n$ 以外の外乱 $W_1$ による振動数 $f_b$ で最も大きな重みを持つ感度低減用の周波数重み関数 $W_s$ を使用した制御設計を行なっているので、この制御ゲインが適用されたアクティブ制振装置は、設定した外乱 $W_1$ による振動数 $f_b$ 帯域の揺れに対しても作動し、この結果当該振動 $f_b$ に対する減衰力を発生することになる。このため、アクティブ制振装置は、制御対象2の固有振動数 $f_n$ と外乱 $W_1$ による振動数 $f_b$ とが一致しない場合においても、当該外乱 $W_1$ による制御対象2の揺れを効果的に低減させることができる。

【0019】加えて、上記周波数重み関数 $W_s$ と併せ

て、ロバスト安定周波数重み関数 $W_t$ 、 $W_n$ を設定しているの、制御対象振動数 $f_n$ 、 $f_b$ 以外の周波数帯域における制御力の発生を抑制することができる。この結果、上述した固有振動数 $f_n$ を設定する際のモデル化誤差や、コントローラ4からアクチュエータに入力される制御力の位相遅れ等に対するアクティブ制振装置のロバスト性を向上させることができるとともに、装置のドリフトを抑制することができ、よって特定の制御対象振動数 $f_n$ 、 $f_b$ での強い制御を実現することができる。

【0020】ちなみに、本発明者等は、同一の制御対象2に対して、従来のTMD (Tuned Mass Damper) を用いた場合、従来のアクティブ制振装置を用いた最適制御を行なった場合、および本発明に係る感度低減用の周波数重み関数を設定したH無限大制御理論に基づく制御を行なった場合について、それぞれ振動の低減効果について実験を行ない、制振を全く行なわなかった場合に対する固有1次振動数5.5 Hzにおける応答低減比率を比較したところ、上記TMDの場合に0.720であり、従来の最適制御の場合に0.117であったのに対して、本発明に係る制御方法では、0.047と大幅な振動低減効果が得られることが判明した。

【0021】なお、図4に示すように、制御対象2の固有振動数 $f_n$ に起因する揺れと、外乱 $W_1$ による振動数 $f_b$ に起因する揺れとが異なる場合に、これら異なる揺れを同時に制振するには、固有振動数 $f_n$ と外乱 $W_1$ による振動数 $f_b$ とにおいてそれぞれ重みが大きくなる周波数重み関数を設定することにより、双方の振動も低減することが可能である。例えば、半導体工場においては、床の固有振動だけでなく、生産機器や設備機器等の特定振動数の外乱 $W_1$ による微振動が問題となる場合が多く、このような場合には上記周波数重み関数 $W_s$ を用いることにより、固有振動数 $f_n$ による揺れと、当該固有振動数 $f_n$ と異なる外乱 $W_1$ の振動数 $f_b$ による揺れとを、同時に制振することが可能になる。さらに、複数の外乱による振動数が検出された場合には、それぞれの振動数に対応した複数の周波数重み関数を設定することにより、任意の振動帯域の揺れを制振することもできる。

【0022】また、一般にアクティブ制振装置は、制御対象振動数の近傍の揺れに対しても、ある程度大きく作用する特徴がある。そこで、図5に示すように、制御対象2の固有振動数 $f_n$ による揺れと、外乱 $W_1$ の振動数 $f_b$ による揺れとが近接することにより、複数の振動数成分が励起される場合においては、複数の振動数成分、図示においては固有振動数 $f_n$ による振動成分と外

乱振動数 $f_b$ による振動成分との中央で重みが大きくなるように周波数重み関数 $W_s$ を設定することにより、これら複数の振動数に起因する揺れを同時に低減することもできる。

【0023】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1または2に記載のアクティブ制振方法によれば、アクティブ制振装置を制御対象の固有振動数に起因する振動の制振制御に加えて、さらにH無限大制御理論を用いて制御対象の固有振動数以外の外乱による振動数で最も大きな重みを持つ感度低減用の周波数重み関数を使用した制御設計を行なっているので、アクティブ制振装置を、設定した外乱による振動数帯域の揺れに対しても作動させて当該振動に対する減衰力を発生させることにより、制御対象の固有振動数と外乱による振動数が一致しない場合においても、当該外乱による揺れを効果的に低減させることができる。

【0024】また、特に請求項2に記載の発明によれば、上記感度低減用の周波数重み関数と併せて、ロバスト安定周波数重み関数を設定しているの、制御対象振動数以外の周波数帯域における制御力の発生を抑制することができ、よってモデル化誤差や制御力の位相遅れ等に対するアクティブ制振装置のロバスト性を向上させることができるとともに、装置のドリフトを抑制することができ、よって制御対象振動数での強い制御を可能にすることができるといった効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態を実施するための制御系を示す図である。

【図2】重み関数 $W_s$ を設定する方法を示すグラフである。

【図3】重み関数 $W_t$ 、 $W_n$ を設定する方法を示すグラフである。

【図4】外乱振動数が固有振動数と離れている場合の重み関数 $W_s$ の設定方法を示すグラフである。

【図5】外乱振動数が固有振動数と近接している場合の重み関数 $W_s$ の設定方法を示すグラフである。

【符号の説明】

1 制御系

2 制御対象

3 センサー

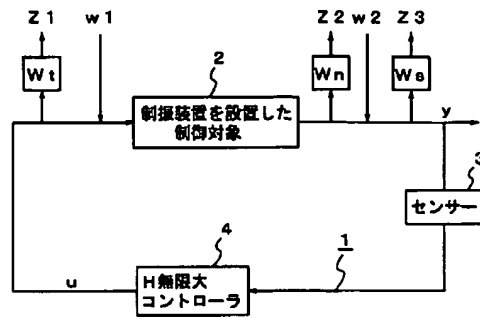
4 コントローラ

$W_s$  感度低減用の周波数重み関数

$W_t$ 、 $W_n$  ロバスト安定周波数重み関数

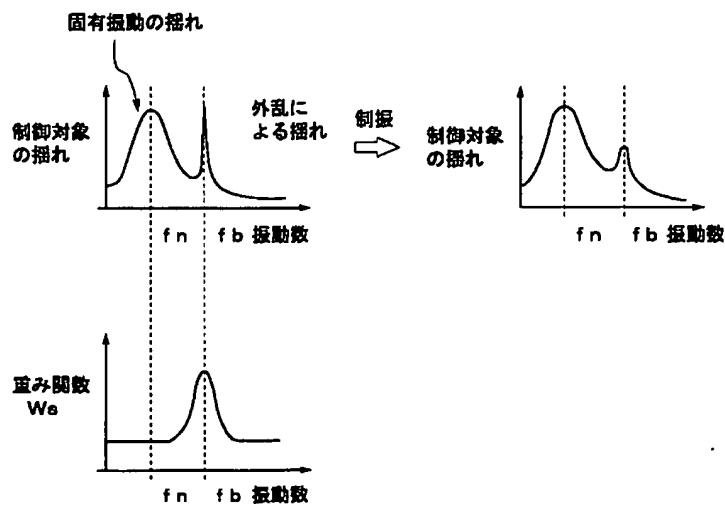
$W_1$  外乱

【図1】

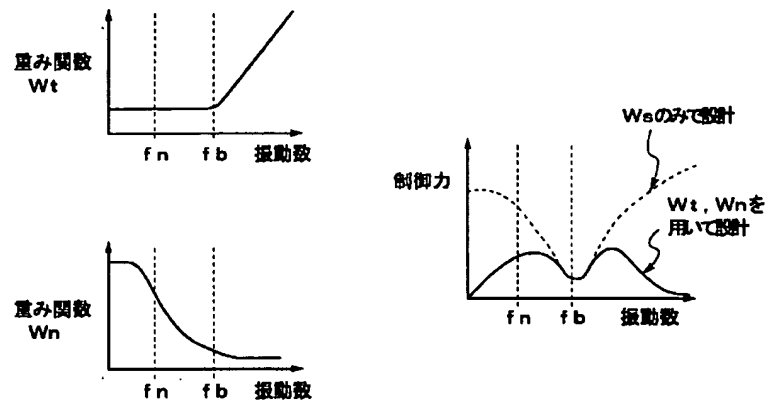


$w1$ : 外乱  
 $w2$ : 観測ノイズ  
 $y$ : 観測値  
 $u$ : 制御力  
 $Z1, Z2, Z3$ : 操作量  
 $W_s$ : 感度低減重み  
 $W_n$ : ロバスト安定重み  
 (乗法利得)  
 $W_t$ : ロバスト安定重み  
 (加法利得)

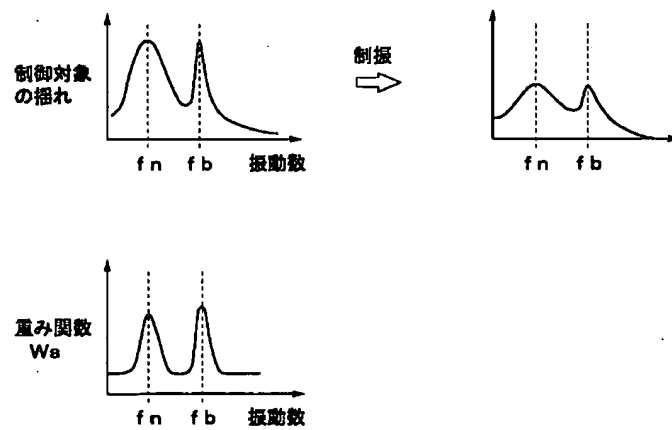
【図2】



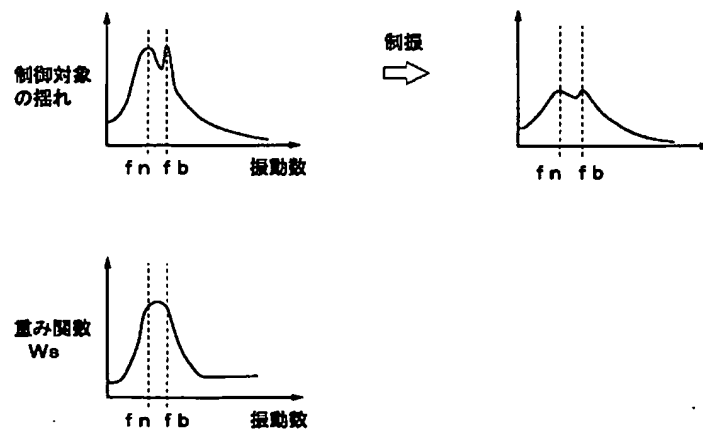
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

F ターム(参考) 3J048 AB09 AB15 AD03 CB30 EA07  
EA38  
5H004 GA09 GA17 HA12 KB22 KB24  
KB26 KC18 MA11  
9A001 HH34 KZ54